

Инженерная школа ядерных технологий
 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки ТЭУ-500 УДК 539.16.04:539.1.074

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Моргачева Кристина Викторовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Веригин Дан Александрович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность».

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Код резул ьтата	Результат обучения (компетенции)
Общекультурные компетенции	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в

Код результата	Результат обучения (компетенции)
	развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Бычков П.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А6А	Моргачева Кристина Викторовна

Тема работы:

Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки ТЭУ-500
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020, 59-91/с
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Понятие импульсного ионизирующего излучения и его характеристик; Устройство и характеристики ускорителя электронов ТЭУ-500;
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников с целью выявления особенностей импульсных источников излучения и области применения данных источников. Создание компьютерной модели установки ТЭУ-500. Разработка схемы проведения дозиметрического контроля установки ТЭУ-500. Проведение дозиметрического контроля установки ТЭУ-500. Анализ полученных экспериментальных данных и закономерностей. Дополнительные разделы, подлежащие разработке: социальная ответственность, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Веригин Дан Александрович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Моргачева Кристина Викторовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО		
0А6А	Моргачева Кристина Викторовна		
Школа	ИЯТШ	Отделение Школа	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Моргачева Кристина Моргачева		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6А	Моргачева Кристина Викторовна

Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки ТЭУ-500	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования являются дозовые характеристики полей импульсного ионизирующего излучения.</p> <p>В настоящее время импульсные источники излучения приобрели широкое применение в промышленности и медицине.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс РФ; – СанПиН 2.2.4.548–96; – СНиП 23-05-95*; – СН 2.2.4/2.1.8.562-96; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – СанПиН 2.6.1.2523-09; – СанПиН 2.6.1.2573-10; – МР 2.2.9.2311-07; – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p>Анализ выявленных вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – параметры микроклимата; – недостаток естественного освещения; – шум; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – повышенный уровень ионизирующего излучения; – вредные вещества; – нервно-психические перегрузки; – электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – загрязнение почвы электронными отходами; – утилизация компьютерной техники.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ типичной чрезвычайной ситуации на рабочем месте - пожар;

	– превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Моргачева Кристина Викторовна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.20	Составление и утверждение технического задания	10
05.03.20	Подбор и изучение материалов по теме	15
16.03.20	Проведение моделирования	20
20.05.20	Проведение дозиметрического контроля	20
25.05.20	Анализ и описание результатов	20
27.05.20	Подготовка к защите ВКР	15

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Веригин Д.А.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 81 с., 10 рис., 35 табл., 26 источников, 1 прил.

Ключевые слова: импульсное ионизирующее излучение, тормозное излучение, импульсный электронный ускоритель, дозиметрический контроль.

Объектом исследования являются дозовые характеристики поля импульсного ионизирующего излучения установки «ТЭУ-500».

Целью данной работы является исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки «ТЭУ-500».

В процессе исследования:

- проведен литературный обзор по методам и приборам измерения дозовых полей импульсного излучения;
- изучен принцип действия и основные параметры установки ТЭУ-500;
- проведен дозиметрический контроль установки ТЭУ-500;
- проведено компьютерное моделирование распределения дозовых полей установки ТЭУ-500 в совокупности с инженерными расчетами.

В результате исследования выявлены основные особенности дозиметрии импульсного ионизирующего излучения; в ходе дозиметрического контроля не установлено превышения пределов доз, указанных в НРБ-99/2009; полученные в ходе компьютерного моделирования данные показали хорошее согласие с экспериментальными, расхождение обусловлено погрешностью прибора и неточностью данных о составе и толщинах стен.

Область применения: решение задач, связанных с дозиметрическим контролем установок, генерирующих импульсное ионизирующее излучение.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

Импульсное ионизирующее излучение – ионизирующее излучение, в данной точке поля которого никогда не будет постоянного значения мощности дозы в интервале времени длительностью более чем 10 с.

Источник ионизирующего излучения – объект, содержащий радиоактивный материал, или техническое устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать ионизирующее излучение.

Поглощенная доза – это локальная характеристика, равная отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементе объема, к массе вещества в этом объеме.

Эквивалентная доза – это произведение поглощенной дозы в биологической ткани или органе на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.

Эффективная доза – это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов или тканей с учетом их радиочувствительности.

Амбиентный эквивалент дозы – это эквивалент дозы, который был бы создан в шаровом фантоме МКРЕ на глубине d (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленному и однородному.

Индивидуальный эквивалент дозы – это эквивалент дозы в мягкой биологической ткани на глубине d (мм) под рассматриваемой точкой на поверхности плоского фантома или на теле взрослого человека.

Взрывная электронная эмиссия – это испускание с металлической поверхности эмиттера при переходе металла из твердого состояния в плазму.

ФЭУ – фотоэлектронный умножитель.

Оглавление

Реферат	10
Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки.....	11
Введение.....	15
1. Методы регистрации импульсного излучения.....	17
1.1 Газонаполненные детекторы.....	17
1.2 Сцинтилляционные детекторы	20
1.3 Полупроводниковые детекторы	22
2. Дозиметрические характеристики поля излучения	25
3. Приборы для регистрации импульсного излучения.....	28
4. Экспериментальное оборудование.....	30
4.1 Программа «Компьютерная лаборатория» (версия 9.10)	30
4.2 Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500.....	30
4.3 Дозиметр ДКС-АТ1123	34
5. Экспериментальные исследования.....	37
5.1 Дозиметрический контроль установки «ТЭУ-500»	38
5.2 Расчет дозы в импульсе от рассеянного тормозного излучения с помощью универсальных таблиц.....	41
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	45
Введение	45
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	46
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений	46
6.1.2 SWOT-анализ.....	47
6.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	50
6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	50
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	51

6.2.3 Бюджет научно-технического исследования	54
6.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	55
6.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	55
6.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	56
6.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	58
6.2.3.5 Накладные расходы.....	59
6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	60
Выводы по разделу	62
7 Социальная ответственность	63
Введение	63
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
7.2 Производственная безопасность.....	65
7.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	66
7.2.1.1 Параметры микроклимата	66
7.2.1.2 Недостаточная освещенность	67
7.2.1.3 Шум	68
7.2.1.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	69
7.2.1.5 Повышенный уровень ионизирующего излучения	70
7.2.1.6 Вредные вещества	70
7.2.1.7 Нервно-психические перегрузки	71
7.2.1.8 Электрический ток	71
7.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия вредных и опасных факторов на исследователя	73
7.3 Экологическая безопасность.....	74
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
Выводы по разделу	76
Заключение	78
Список использованных источников	79

Приложение А	82
--------------------	----

Введение

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. В зависимости от характера распространения во времени различают непрерывное и импульсное излучения. Под импульсным ионизирующим излучением понимается излучение, в данной точке поля которого никогда не будет постоянного значения мощности дозы в интервале времени длительностью более чем 10 секунд.

Источником ионизирующего излучения является объект, содержащий радиоактивный материал, или техническое устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать ионизирующее излучение [1]. В настоящее время источники ионизирующего излучения получили широкое распространение в различных сферах человеческой жизни. Большинство этих источников генерируют импульсное ионизирующее излучение. Это связано с наличием ряда преимуществ импульсных источников перед радионуклидными: удобство в эксплуатации, стоимость и безопасность.

В Томском политехническом университете разработка и изготовление импульсных электронных ускорителей осуществляется в Лаборатории №1 ИШФВП. В настоящее время использование импульсных плазмохимических процессов для синтеза ультрадисперсных оксидов металлов из галогенидов является перспективным направлением, исследования по данному направлению проводятся на импульсном ускорителе ТЭУ-500. Также на ускорителе осуществляются исследования по конверсии галогенидов металлов и разработке низкотемпературного метода восстановления металлов из фторидных соединений.

Дозиметрический контроль при обследовании рабочих мест таких установок значительно отличается от дозиметрического контроля непрерывных излучений. Радиационную обстановку постоянных источников характеризует мощность дозы. Данная величина не может характеризовать поле излучения импульсных источников, потому как значение мощности дозы в импульсе на порядки превышает производные от нормируемых величин. Так как, источники

импульсного излучения работают не постоянно, необходимо учитывать длительность импульсов и частоту их следования. Поэтому операционной величиной в дозиметрии импульсного излучения является доза облучения.

Целью данной работы является исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения.

Содержание выпускной квалификационной работы представляет рассмотрение следующих задач:

- проведение литературного обзора по методам и приборам измерения дозовых полей импульсного излучения;
- изучение принципа действия и основных параметров установки ТЭУ-500;
- проведение дозиметрического контроля установки ТЭУ-500;
- проведение компьютерного моделирования распределения дозовых полей установки ТЭУ-500 в совокупности с инженерными расчетами.

Объектом исследования являются дозовые характеристики поля импульсного ионизирующего излучения установки «ТЭУ-500».

1. Методы регистрации импульсного излучения

1.1 Газонаполненные детекторы

Газонаполненные детекторы представляют собой объем, заполненный газом с двумя электродами.

Принцип действия всех газонаполненных детекторов основан на явлении ионизации рабочей среды детектора ядерным излучением. Попадая в объем детектора либо непосредственно за счет потерь энергии (заряженные частицы), либо через вторичные взаимодействия (γ -излучение и нейтральные частицы), излучение приводит к появлению некоторого количества пар ионов в рабочем веществе детектора. За счет приложенной разности потенциалов к электродам детектора положительно и отрицательно заряженные ионы начинают двигаться в соответствие с направлением электрического поля, создавая тем самым ионизационный ток. По достижении группы ионов электрода происходит изменение его потенциала, что эквивалентно появлению импульса напряжения на выходе схемы. Это можно зарегистрировать радиометрическим устройством и тем самым зафиксировать попадание ионизирующего излучения в объем детектора. Для того, чтобы величина возникающего импульса определялась величиной заряда, создаваемого в объеме между обкладками конденсатора, необходимо использовать достаточно большое сопротивление утечки, чтобы за время зарядки емкости током она не разряжалась.

На рисунке 1.1 приведена зависимость величины импульса от напряжения на детекторе [2]. В первой области (рис. 1.1), при относительно малых напряженностях электрического поля величина импульса зависит от начального числа пар ионов, образованных частицей. Рост амплитуды в этой области обусловлен тем, что не все образованные регистрируемой частицей пары ионов доходят до электродов из-за рекомбинации.

Участок кривой в области 2 (рис. 1.1) называют областью насыщения, в данной области работают ионизационные камеры. Увеличение напряженности электрического тока приводит к уменьшению вероятности рекомбинации и все

заряды, образованные регистрируемой частицей, достигают электродов. Величина импульса в этой области, аналогично первой области, зависит только от начального числа пар ионов, образованных частицей.

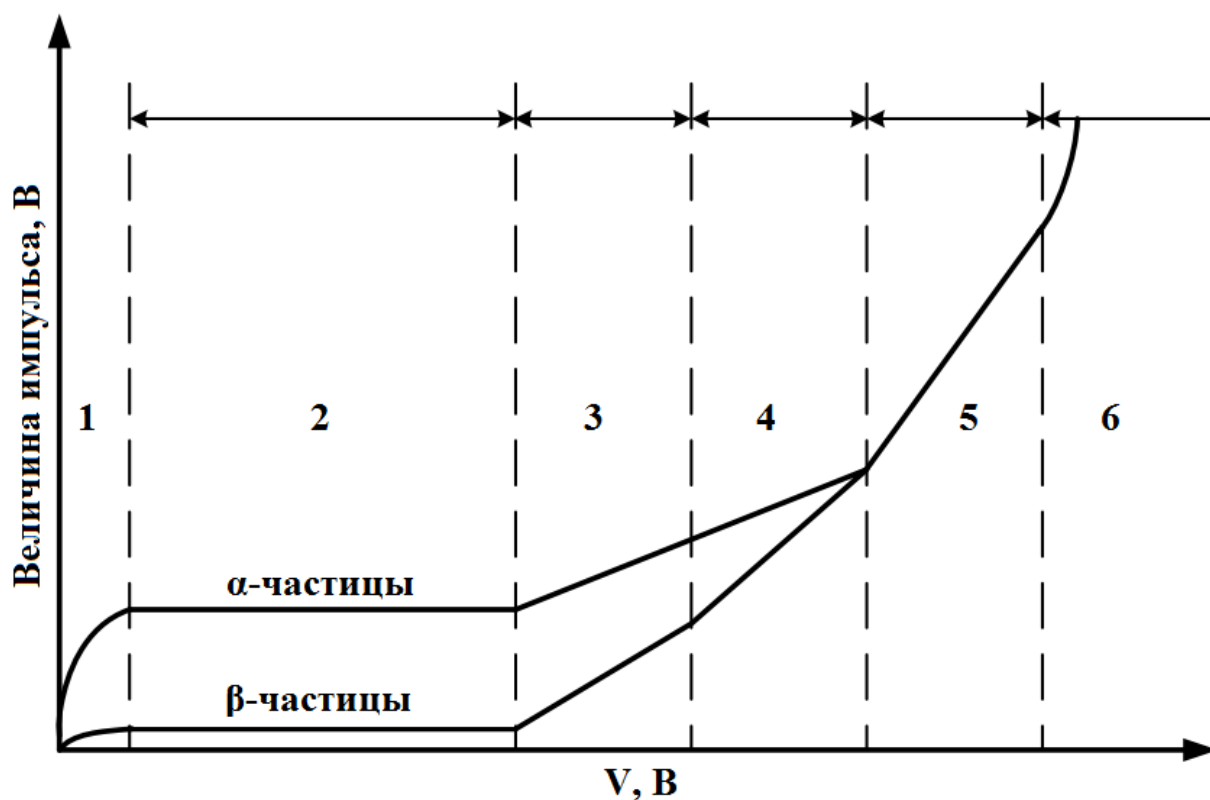


Рисунок 1.1 – Зависимость амплитуды импульса от напряжения на детекторе

Дальнейшее увеличение напряженности поля в области 3 (рис. 1.1) приводит к тому, что дрейфующие к электроду электроны между соударениями с молекулами могут приобрести энергию, достаточную для вторичной ионизации. В данной области величина импульса остается пропорциональна начальной ионизации.

В области 4 (рис. 1.1) увеличение напряженности поля вызывает нарушение пропорциональности величины импульса первоначальному числу пар ионов, образованных регистрируемой частицей. Причиной нарушения являются фотоэлектроны, возникающие в результате взаимодействия фотонов, испускаемых возбужденными молекулами газа.

В области 5 (рис. 1.1) величина импульса больше не зависит от первоначальной ионизации, возникает самостоятельный разряд. Самостоятельный разряд в данной области может вызвать всего одна пара ионов,

возникшая в объеме детектора. Возрастание величины заряда ограничено характеристиками детектора. Преимуществом детекторов, работающих в данной области является высокая чувствительность, т.к. величина регистрируемого импульса может достигать нескольких десятков вольт. Недостатком таких детекторов является невозможность разделить различные виды излучения.

В области 6 (рис. 1.1) напряженности поля достаточно, чтобы вырывать электроны из электродов, что вызывает самостоятельный газовый разряд. Дальнейшее увеличение напряжения на электродах приводит к пробоем газа.

Газонаполненные детекторы имеют два режима работы: счетный и токовый. От этого зависят характеристики детектора относительно дозиметрии импульсного излучения. В зависимости от дозы в импульсе рекомендовано применять различные ионизационные камеры: при дозе порядка 1 мГр – воздушные цилиндрические ионизационные камеры; при дозах в диапазоне от 1 до 10 мГр – камеры, имеющие расстояние между электродами от 1 до 3 мм; при дозах выше этих значений – специальные камеры [3].

Наличие «мёртвого времени» у детекторов, работающих в счетном режиме, накладывает определенные ограничения на применение таких детекторов в дозиметрии импульсного излучения. Согласно статье [4] применение счетчиков Гейгера-Мюллера для измерения импульсных полей возможно, но лишь при относительно невысоких мощностях дозы.

Анализ процессов собирания ионов в ионизационной камере под действием импульсного излучения показывает:

а) Для импульсного излучения, как и для непрерывного, при неизменной мощности ионизации эффективность собирания ионов будет тем выше, чем меньше расстояние между электродами и чем больше подвижность ионов и напряжение на камере. Можно получить эффективность собирания ионов близкую к 100% вследствие большой подвижности ионов, применяя газы, не образующие отрицательных ионов (чистый аргон).

б) Эффективность собирания ионов при импульсном облучении всегда меньше, чем при непрерывном. Такое изменение эффективности собирания

ионов ограничивает возможность применения камер, проградуированных при непрерывном облучении, для дозиметрии импульсного излучения.

в) При постоянном значении средней мощности дозы эффективность собирания ионов растет с увеличением частоты следования импульсов.

г) Эффективность собирания ионов при импульсном облучении относительно непрерывного облучения падает с увеличением средней мощности дозы и с уменьшением частоты поступления импульсов [5].

1.2 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный детектор состоит из сцинтиллятора и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Сцинтиллятор представляет собой вещество, которое способно излучать свет при поглощении ионизирующего излучения. Действие сцинтилляционного детектора основано на регистрации световых вспышек, которые возникают в детекторе под действием заряженных частиц.

При взаимодействии со сцинтиллятором ионизирующее излучение вызывает ионизацию. При этом в веществе возникают вспышки света в видимой или ультрафиолетовой области, называемые сцинтилляциями. Испущенные фотоны направляются на ФЭУ.

Применение фотоэлектронного умножителя обусловлено необходимостью регистрации фотонов небольших энергий. Фотоэлектронный умножитель представляет собой вакуумный баллон, внутри которого расположены фотокатод, фокусирующая система, система умножающих динодов и заключающий анод. Фотоны, попадающие на фотокатод, результате фотоэффекта выбивают из него электроны, направляющиеся фокусирующей системой на первый динод. Система динодов состоит из 15-20 электродов, имеющих высокий коэффициент вторичной электронной эмиссии. За счет вторичной эмиссии поток электронов значительно умножается и с анода ФЭУ снимается усиленный сигнал. Сигнал на входе ФЭУ пропорционален начальному числу фотонов.

В зависимости от материала сцинтиллятора выделяют органические и неорганические. К органическим относятся органические кристаллы, жидкие сцинтилляторы, а также пластики; к неорганическим – неорганические монокристаллы.

При использовании сцинтилляционного детектора возможно измерить число импульсов тока в единицу времени и среднее значение анодного тока. Это обуславливает возможность работы таких детекторов в импульсном и аналоговом режимах.

Принципиальная схема сцинтилляционного детектора изображена на рис. 1.2.

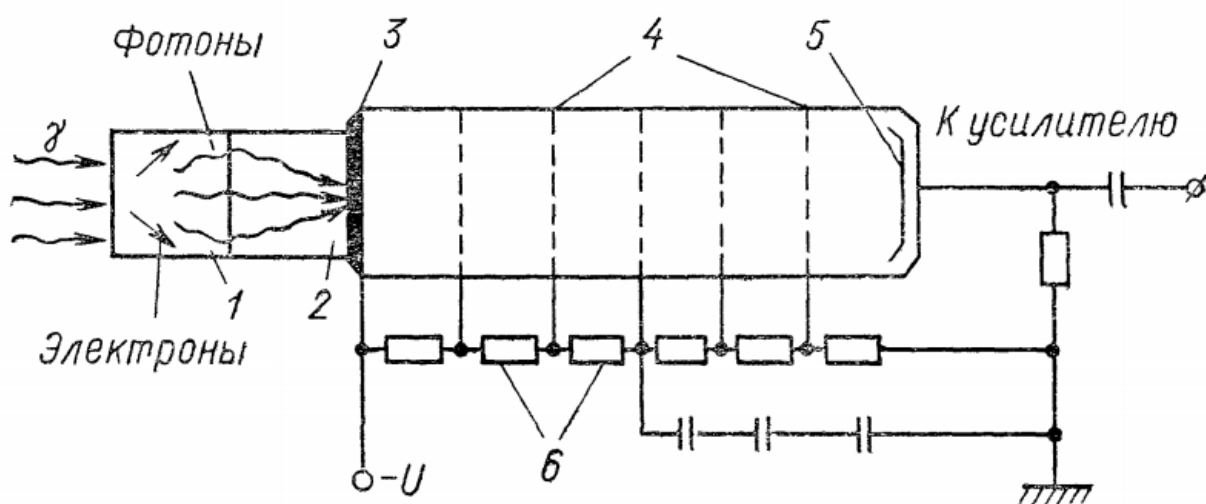


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема сцинтилляционного дозиметра:

1 – сцинтиллятор; 2 – светопровод; 3 – фотокадод; 4 – диноды; 5 – анод ФЭУ; 6 – делитель напряжения

Между ионизационным методом и сцинтилляционным есть определённая аналогия – в обоих методах различают токовый и счетный режим. Подобно ионизационной камере, ток в сцинтилляционном дозиметре определяет поглощенную энергию излучения, а скорость счета – плотность потока фотонов.

Наличие «мертвого времени» у сцинтилляционных дозиметров в счетном режиме определяют их непригодность для дозиметрии импульсного излучения. Даже при бесконечно большой мощности дозы скорость счета таких детекторов будет примерно равна 400 импульсам в секунду.

Для дозиметрических измерений удобно использовать тканеэквивалентный сцинтиллятор, так как в нем количество фотонов, испускаемых сцинтиллятором, пропорционально поглощенной дозе в биологической ткани.

При передаче больших токов скопление электронов на последних диодах фотоэлектронного умножителя создает электрическое поле, мешающее ускорению последующих электронов. Нелинейность ФЭУ в таких случаях является основным ограничением в применении такого типа приборов для дозиметрии импульсного излучения [2].

1.3 Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые детекторы являются твердотельными аналогами ионизационных камер. Применение полупроводников в качестве дозиметрических детекторов основано на их способности регистрировать ионизирующие частицы. В природе имеется огромное количество соединений, минералов и чистых элементов, которые относятся к классу полупроводников, но лишь немногие из них нашли применение для регистрации ионизирующих излучений.

Полупроводниками являются вещества, ширина запрещенной зоны которых, с точки зрения зонной теории, составляет 2 – 3 эВ. Они занимают место между проводниками и диэлектриками.

Принцип работы полупроводниковых детекторов аналогичен принципу работы ионизационной камеры. Но в полупроводниковых счетчиках происходит ионизация не газов, а твердого вещества, это особенность определяет преимущества и недостатки данного метода, а также возможность использования в дозиметрии импульсного излучения.

При попадании заряженной частицы в полупроводник, в зоне проводимости и в валентной зоне вследствие ионизации возникают свободные электроны и дырки соответственно. Для образования пары электрон-дырка требуется энергия, примерно равная по величине ширине запрещенной зоны, т.е.

порядка нескольких электронвольт. Это является отличительной особенностью полупроводниковых счетчиков от газонаполненных детекторов, в которых на образование одной пары необходимо порядка 34 эВ. Образованные ионизирующей частицей носители заряда в полупроводнике собираются на электродах детектора электрическим полем. Величина регистрируемого при этом импульса прямо пропорциональна энергии, потерянной частицей в объеме детектора.

Основными преимуществами полупроводниковых детекторов являются:

1). На образование пары электро-дырка затрачивается примерно на порядок меньше энергии, чем в ионизационных камерах. Поэтому в полупроводниках образуется намного больше носителей зарядов и они меньше подвержены статистическим флуктуациям.

2). Плотность полупроводниковых детекторов намного выше, чем в ионизационных камерах. Поэтому они обладают высокой чувствительностью даже при относительно малых размерах;

3). при одинаковой поглощенной энергии в полупроводниковом детекторе образуется примерно на порядок больше носителей электрических зарядов, чем в ионизационной камере;

4). большая разрешающая способность.

Большая разрешающая способность в импульсном режиме обусловлена высокой подвижностью зарядов, обеспечивающей собирание зарядов на электроды за короткий промежуток времени. Высокая подвижность зарядов снижает вероятность рекомбинации ионов и обеспечивает большой ионизационный ток.

К недостаткам полупроводниковых детекторов относят:

– нетканеэквивалентность (ток не пропорционален поглощенной в мягкой биологической ткани дозе).

– значительную зависимость «фоновой» проводимости от температуры, обусловленную относительно невысоким удельным сопротивлением полупроводников (высокие значения «фоновой» проводимости иногда

определяют невозможность использовать полупроводники в качестве детекторов);

В настоящее время существуют дозиметры, прямо предназначенные для импульсного излучения. Они измеряют такие специфические для импульсного излучения параметры, как мощность дозы в импульсе, дозу в импульсе, длительность импульса и т.д. Примером таких дозиметров являются: Piranha, Cobia и RaySafe Xi. Данные дозиметры являются избирательны к форме спектра излучения, характерного для медицинских рентгеновских аппаратов.

2. Дозиметрические характеристики поля излучения

Ионизирующее излучение при взаимодействии с веществом передает ему энергию, которая определяет его химическое, физическое и биологическое воздействие ионизирующего излучения на вещество.

Для количественной оценки поглощенного веществом ионизирующего излучения принята физическая величина – поглощенная доза или сокращенно доза. Поглощенная доза – это локальная характеристика, равная отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементе объема, к массе вещества в этом объеме [6]. Единица измерения поглощенной дозы в СИ – 1 грей (Гр). Один грей равен поглощенной дозе, при которой веществу массой 1 килограмм передается от ионизирующего излучения энергия, равная 1 джоуль.

Воздействие ионизирующего излучения на живой организм зависит не только от переданной энергии, но и от вида излучения. Это связано с различным распределением поглощенной энергии в веществе в зависимости от вида излучения. Эти различия учитывает эквивалентная доза. Эквивалентная доза – это произведение поглощенной дозы в биологической ткани или органе на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения [6]. Взвешивающий коэффициент используют для характеристики относительной биологической опасности данного вида излучения.

Биологические органы или ткани имеют различную радиочувствительность, поэтому для случаев неравномерного облучения организма введено понятие эффективной дозы. Эффективная доза – это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов или тканей с учетом их радиочувствительности [6].

НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 устанавливают требования, согласно которых дозы облучения персонала необходимо выражать в единицах нормируемых величин. Проблема состоит в том, что данные величин измерить

непосредственно невозможно. Поэтому для соблюдения данных предписаний используются специальные операционные величины, которые возможно однозначно определить через физические характеристики поля. Полученные в результате измерений операционные величины применяются для консервативной оценки соответствующих нормируемых величин.

Для дозиметрического контроля внешнего облучения на рабочих местах и в рабочих помещениях применяет амбиентный эквивалент дозы, это эквивалент дозы, который был бы создан в шаровом фантоме МКРЕ на глубине d (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленному и однородному. Принятое обозначение амбиентного эквивалента дозы – $H^*(d)$. Рекомендуемой единицей измерения мощности амбиентного эквивалента дозы является – мкЗв/ч.

Шаровой фантом МКРЕ представляет собой шар, выполненный из тканеэквивалентного материала, со следующим химическим составом: 76,2 % – кислород, 11,1 % – углерод, 10,1 % – водород и 2,6 % – азот. Диаметр шара составляет 30 см, плотность – 1 г/см³.

Значение параметра d (мм) зависит от того, какую нормируемую величину определяют при проведении дозиметрического контроля. В таблице 2.1 приведены соответствия между нормируемыми и операционными величинами при проведении группового дозиметрического контроля [7].

Таблица 2.1 – Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при проведении группового дозиметрического контроля

Нормируемая величина	Мощность амбиентного эквивалента дозы	
	d, мм	Условное обозначение
Мощность эквивалентной дозы внешнего облучения кожи	0,07	$H^*(0,07)$
Мощность эквивалентной дозы внешнего облучения хрусталика глаза	3	$H^*(3)$
Мощность эквивалентной дозы внешнего облучения на поверхности нижней части области живота женщин	10	$H^*(10)$
Мощность эффективной дозы внешнего облучения	10	$H^*(10)$

Операционной величиной при индивидуальном дозиметрическом контроле внешнего облучения является индивидуальный эквивалент дозы, равный эквиваленту дозы в мягкой биологической ткани на глубине d (мм) под рассматриваемой точкой на поверхности плоского фантома или на теле взрослого человека. Принятое обозначение индивидуального эквивалента дозы – $H_p(d)$. Рекомендуемая единица индивидуального эквивалента дозы – мЗв.

В таблице 2.2 приведены соответствия между нормируемыми и операционными величинами при проведении индивидуального дозиметрического контроля [7].

Таблица 2.2 – Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при проведении индивидуального дозиметрического контроля

Нормируемая величина	Индивидуальный эквивалент дозы		
	Положение индивидуального дозиметра	d, мм	Условное обозначение
Эквивалентная доза внешнего облучения кожи	Непосредственно на поверхности наиболее облучаемого участка кожи	0,07	$H^*(0,07)$
Эквивалентная доза внешнего облучения хрусталика глаза	На лицевой части головы	3	$H^*(3)$
Эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщины	На поверхности тела, в соответствующем месте	10	$H^*(10)$
Эффективная доза внешнего облучения	На поверхности тела в оптимальных местах, определяемых в зависимости от геометрии облучения	10	$H^*(10)$

3. Приборы для регистрации импульсного излучения

На основании проведенного литературного обзора выявили, что в настоящее время на отечественном рынке представлены следующие дозиметры, подходящие для исследований импульсных полей: ДКС-96, ДКС-АТ1123, ДКГ-РМ1621.

Принцип действия дозиметра ДКГ-РМ1621 основан на подсчете числа импульсов, поступающих с выхода детектора, и вычислении мощности эквивалентной дозы и эквивалентной дозы по специальному алгоритму [8]. Время измерения мощности дозы выбирается автоматически с учетом допустимой статистической погрешности. Дозиметр предназначен для измерений мощности индивидуальной эквивалентной дозы рентгеновского и гамма – излучений (МЭД), измерений индивидуальной эквивалентной дозы рентгеновского и гамма - излучений (ЭД), регистрации времени набора ЭД. В дозиметре ДКГ-РМ1621 в качестве детектора излучения используется счетчик Гейгера-Мюллера, относящийся к газонаполненным детекторам. По причине наличия «мертвого времени» у газонаполненных детекторов в счетном режиме, использование данного дозиметра при исследовании импульсных полей имеет ограничение. Полученные в статье [8] результаты показывают, что дозиметр ДКГ-РМ1621 позволяет получать результаты с дополнительной погрешностью не более 15% при средней мощности дозы тормозного излучения до 25 мкЗв/ч.

Принцип действия дозиметров ДКС-96 и ДКС-АТ1123 основан на использовании сцинтилляционного метода дозиметрии. Метод основан на измерении, накоплении и подсчете импульсов, возникающих в объеме сцинтиллятора под воздействием рентгеновского и гамма-излучения [9].

Дозиметры позволяют измерить:

- мощность амбиентной дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения;
- мощность амбиентной дозы кратковременно действующего излучения;
- среднюю мощность амбиентной дозы импульсного излучения;

– амбиентную дозу рентгеновского и гамма-излучения [10].

Мертвое время при работе детектора в импульсном режиме является основным ограничением при применении сцинтилляционных детекторов в дозиметрии импульсных полей. Нелинейность фотоэлектронного умножителя, возникающая при передаче больших токов, которые обусловлены очень короткими и мощными импульсами, также накладывает ограничения на использование данного типа дозиметров.

Сравнительная характеристика дозиметров представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Сравнительная характеристика дозиметров

Наименование характеристики	ДКС-АТ1123	ДКС-96	ДКГ-РМ1621
Диапазон измерения МАЭД, мкЗв/ч	0,05-1·10 ⁷	0,1-1·10 ⁶	0,1-1·10 ⁵
Диапазон измерения АЭД рентгеновского и гамма излучения, мкЗв	0,01-1·10 ⁷	0,1-1·10 ⁷	1-9,99·10 ⁶
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения АЭД и МАЭД, %:	±15	±13	±15
Диапазон энергий регистрируемого фотонного излучения, МэВ	0,015-3	0,015-10	0,01-20

4. Экспериментальное оборудование

4.1 Программа «Компьютерная лаборатория» (версия 9.10)

Программа позволяет проводить моделирование методом Монте-Карло процессов распространения заряженных частиц и фотонов в веществе, представлять графически данные процессы на экране монитора, а также получать численных результатов взаимодействия [11]. Программа работает в нескольких режимах: Демонстрация (DEMO), Альбедо (ALBEDO), Факторы накопления (BF), Расчет констант (CONST), Расчет защиты (PROTECT), Барьер (BARRIER), Фантом (PHANTOM), Тормозное излучения (BREMSSTRAHLUNG), Поток (FLUX).

В данной работе для моделирования распределения интенсивности дозовых полей использовались режимы BARRIER и BREMSSTRAHLUNG. С помощью режима BREMSSTRAHLUNG был получен спектр тормозного излучения источника. В режиме BARRIER выполнены интегральных и дифференциальных характеристик заряженных частиц и фотонов в гетерогенной барьерной геометрии.

При необходимости возможно учесть внешнее электрическое и магнитное поле. Расчеты можно проводить для любых простых и сложных веществ, а необходимые для расчета сечения и распределения рассчитываются в режиме CONST.

4.2 Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500

Эксперимент по генерации импульсных электронных пучков выполнен на ускорителе ТЭУ-500. Установка ТЭУ-500 относится к классу линейных ускорителей. Получение электронов происходит путем взрывной эмиссии на катоде. Взрывная электронная эмиссия представляет собой испускание с металлической поверхности эмиттера при переходе металла из твердого состояния в плазму. Важным отличием взрывной эмиссии от других является то, что высокий ток в данном случае мы получаем за счет частичного разрушения

эмиттера. Так как переход из твердого состояния металла в плазму возможен только на локальных участках эмиттера, поверхность которого никогда не бывает абсолютно гладкой и имеет микроскопические неоднородности. При достаточной разности потенциалов на электродах электромагнитное поле концентрируется на микроскопических остриях, тем самым провоцируя образование плазмы с лавинообразным выбросом гигантского потока электронов.

В промежутке анод-катод электроны ускоряются электрическим полем (ускоряющее напряжение 300 кВ), попадая на алюминиевую фольгу, выполняющую функции анода и разделительной мембраны. Затем электронный пучок вводится в химический реактор, заполненную смесью газов O_2 , H_2 , Ar. В химическом реакторе под действием ионизирующего излучения происходит инициация химических реакций. Стенки камеры выполнены из кварцевого стекла, выходное окно выполнено из стали. Внешний вид установки представлен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Внешний вид электронного ускорителя ТЭУ-500

Основные параметры ускорителя ТЭУ-500 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Основные параметры установки ТЭУ-500

Параметр	Значение параметра
Энергия электронов	550 кэВ
Длительность импульса	60 нс
Частота следования	1-5 Гц
Выведенный ток	10 кА
Энергия в импульсе	200 Дж

Ускоритель «ТЭУ-500» применяется для получения радиационного – сшитого неполиэтилена; радиационной деструкции полимеров; радиационного сшивания полимеров; получения кормов для животных из целлюлозосодержащих отходов; радиационной стерилизации медицинских изделий, радиационной обработки пищевых продуктов.

Схема ускорителя приведена на рисунке 4.2.

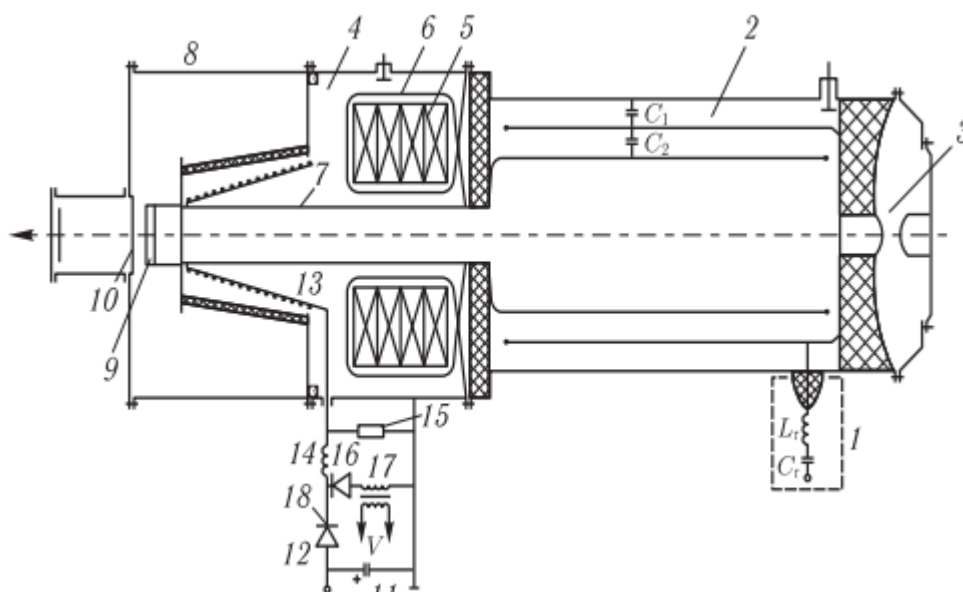


Рисунок 4.2 – Схема ускорителя ТЭУ-500: 1 – газонаполненный ГИН; 2 – ДФЛ; 3 – газовый разрядник; 4 – масляный объем; 5 – сердечники согласующего автотрансформатора; 6 – согласующий трансформатор; 7 – катододержатель; 8 – корпус ускорителя; 9 – катод; 10 – анод; 11 – конденсатор; 12 – тиристор; 13 – индуктивность намагничивания; 14 – развязывающая индуктивность; 15 – шунтирующее сопротивление; 16 – защитный диод; 17 – дроссель насыщения; 18 – управляющий вывод тиристора

Газонаполненный генератор импульсного напряжения, собранный по схеме Аркадьева–Маркса, содержит семь ступеней конденсаторов по два в каждой ступени. Собственная индуктивность генератора импульсного излучения $\sim 1,5$ мкГн. ДФЛ с деионизированной водой в качестве диэлектрика имеет емкость плеч $C1 = C2 = 6,5$ нФ. Суммарная емкость двойной формирующей линии равна выходной емкости ГИН. ДФЛ коммутируется газовым разрядником.

Согласующий автотрансформатор помещен в масляном объеме и содержит четыре сердечника. Вокруг сердечников уложено 12 одиночных витков, которые равномерно (по азимуту) распаяны к электроду ДФЛ. Сердечники и витки крепятся с помощью диэлектрической втулки и боковых пластин, расположенных на катододержателе. К анод-катодному промежутку диода дополнительно к виткам автотрансформатора подключен виток, образованный катододержателем и корпусом ускорителя. Таким образом, диод оказывается включенным по автотрансформаторной схеме с повышением напряжения в 2 раза относительно выходного напряжения ДФЛ.

Для насыщения ферромагнитного сердечника трансформатора до стадии формирования основного импульса напряжения введен узел принудительного намагничивания. Он состоит из конденсатора, тиристора, индуктивности намагничивания, развязывающей индуктивности, шунтирующего сопротивления, защитного диода и дросселя насыщения.

Система питания ускорителя работает следующим образом: начальное магнитное состояние сердечника автотрансформатора задается током, протекающим по цепи индуктивностей, катододержателя и витков при разряде конденсатора. Конденсатор предварительно заряжается от внешнего источника до напряжения, обеспечивающего протекание тока намагничивания 150–200 А. После зарядки конденсатора на управляющий вывод тиристора узла намагничивания подается импульс запуска с блока управления ускорителем. Тиристор открывается, и начинается процесс разрядки конденсатора. В момент перехода тока из цепи тиристора в цепь диода дроссель насыщения формирует

импульс на запуск генератора импульсного напряжения, после срабатывания которого начинается формирование основного импульса напряжения [12].

4.3 Дозиметр ДКС-АТ1123

Принцип действия дозиметра ДКС-АТ1123 основан на сцинтиляционном детекторе. Преобразование потоков импульсов в непосредственно измеряемые физические величины (мощность дозы и дозу) осуществляется автоматически. Алгоритм работы обеспечивает непрерывность процесса измерения, вычисления "скользящих" средних значений и оперативное представление полученной информации на табло, статистическую обработку результатов измерений и оценку статистических флуктуаций в процессе поступления сигналов от детектора, быструю адаптацию к изменениям уровней радиации [10].

Внешний вид дозиметра представлен на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Внешний вид дозиметра ДКС-АТ1123

Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123 предназначен для измерения:

- амбиентного эквивалента дозы рентгеновского и гамма-излучения;
- мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения;

– мощности амбиентного эквивалента дозы при кратковременном воздействии непрерывного излучения;

– амбиентного эквивалента дозы и средней мощности амбиентного эквивалента дозы импульсного излучения.

Дозиметр позволяет измерять МАЭД рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от естественных фоновых уровней до уровней, характерных для тяжелых ядерных аварий. Дозиметр можно использовать в лабораторных и полевых условиях.

Дозиметр можно применять для следующих задач служб радиационной защиты:

– контроля радиационной обстановки при эксплуатации ядерно-энергетических, радиоизотопных, рентгеновских установок, досмотровых ускорительных комплексов непрерывного, кратковременного и импульсного действия в научных исследованиях, промышленности и других областях;

– контроля качества защиты гамма- и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия службами санитарного надзора и Госатомнадзора;

– обнаружения, локализации и дозиметрии источников рентгеновского и гамма излучений службами контроля за перемещением ядерных и радиоактивных материалов;

– радиационного мониторинга окружающей среды, территорий и объектов;

– применения в условиях чрезвычайных и аварийных ситуаций.

Основные технические и метрологические характеристики дозиметра приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные характеристики дозиметра ДКС-АТ1123

Наименование характеристики	ДКС-АТ1123
Диапазон измерения мощности амбиентной дозы (МАД) непрерывного рентгеновского и гамма-излучения, мкЗв/ч	0,05-1·10 ⁷
Диапазон измерения МАД при кратковременном (не менее 0,03 с) воздействии непрерывного излучения, мкЗв/ч	5-1·10 ⁷
Средняя мощность дозы импульсного излучения при мощности дозы в импульсе до 1,3 Зв/с и длительности импульса не менее 10 нс, мкЗв/ч	1-1·10 ⁷

Продолжение таблицы 4.2

Наименование характеристики	ДКС-АТ1123
Диапазон измерения амбиентной дозы (АД) рентгеновского и гамма излучения, мкЗв	$5 \cdot 10^7$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения АД и МАД, в режимах измерения непрерывного и кратковременно воздействующего излучения, %	± 15
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения АД и МАД, в режиме измерения импульсного излучения, %	± 30
Диапазон энергий регистрируемого фотонного излучения, непрерывного излучения длительного и кратковременного действия, МэВ	0,015-10
Диапазон энергий регистрируемого фотонного излучения, импульсного излучения, МэВ	0,015-3
Энергетическая зависимость чувствительности относительно энергии 0,662 МэВ гамма-излучения ^{137}Cs , %	± 35
Минимальная длительность импульсного излучения при мощности дозы в импульсе до 1,3 Зв/с, с	$1 \cdot 10^{-8}$
Минимальная длительность непрерывного излучения кратковременного действия, с	$3 \cdot 10^{-2}$
Диапазон рабочих температур, °С	от -30 до +50
Относительная влажность воздуха при температуре до 35 °С и более низких без конденсации влаги, %	до 95

5. Экспериментальные исследования

На рисунке 5.1 представлен план проведения дозиметрического контроля установки «ТЭУ-500». Красными точками обозначены точки, в которых производились измерения. Высокочастотный генератор создает внутри помещения мощное магнитное поле, воздействие которого на дозиметр может значительно исказить показания или вывести его из строя. Это обуславливает отсутствие измерений внутри помещения, где расположена установка.

Для оценки дозовых полей внутри помещения провели моделирование в программе «Компьютерная лаборатория» совместно с инженерными расчетами.

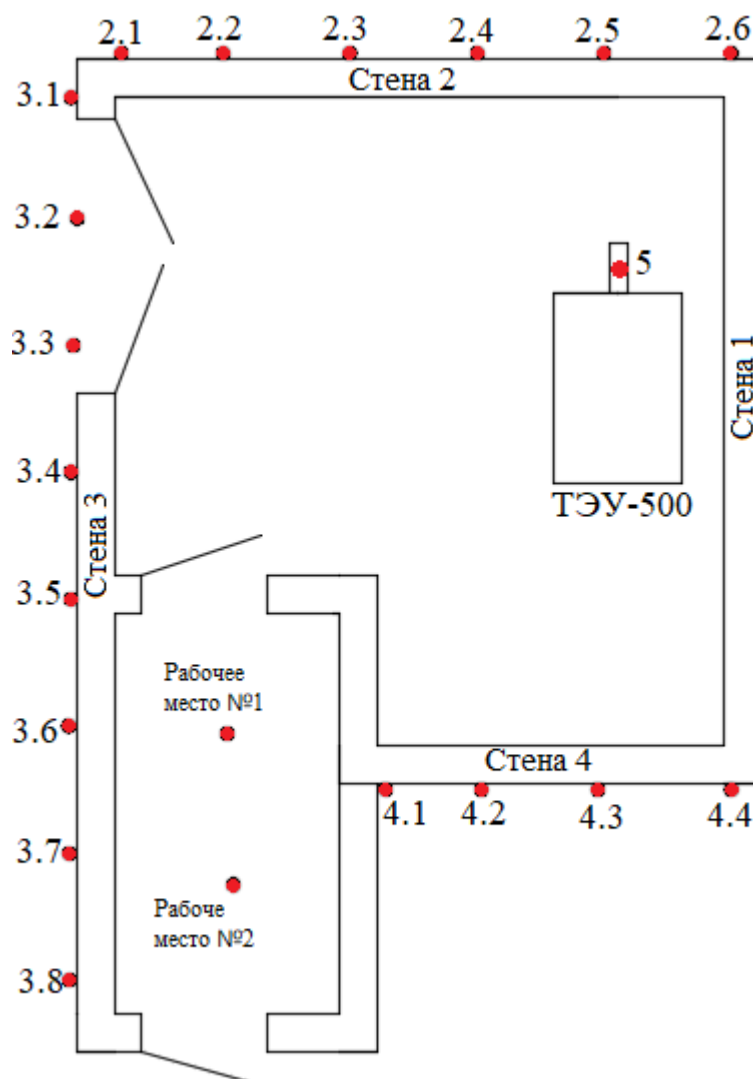


Рисунок 5.1 – План помещения установки «ТЭУ-500»

5.1 Дозиметрический контроль установки «ТЭУ-500»

Дозиметрический контроль ускорительного комплекса «ТЭУ- 500» проводился по аналогии с «Методические рекомендации 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность».

В ходе проведения дозиметрического контроля измерения проводились в штатном режиме работы установки. Характеристикой поля импульсного излучения является доза, поэтому измерения проводились в режиме «Д» – измерение дозы. Измерения проводились на высоте 1 м от пола с шагом 1 м на границе зоны ограничения доступа (на внешних поверхностях стен помещения, в котором установлен ускорительный комплекс), в котором располагается установка. В пультовой, на рабочем месте персонала группы А измерения проводились на трех высотах 10,90 и 150 см.

Расчет дозы в импульсе выполнен по формуле (5.1):

$$D_{\text{имп}} = \frac{D - \dot{D}_{\text{фон}} \cdot t_{\text{изм}}}{n} \quad (5.1)$$

где $\dot{D}_{\text{фон}}$ – МАЭД (фон);

D – измеренное значение АЭД;

$t_{\text{изм}}$ – время измерения;

n – количество импульсов.

Расчет полученной дозы за год выполнен по формуле (5.2):

$$D_{\text{год}} = D_{\text{имп}} \cdot f \cdot t_{\text{раб}}, \quad (5.2)$$

где $D_{\text{имп}}$ – доза в импульсе;

f – частота;

$t_{\text{раб}}$ – время работы установки в год.

Результаты измерений и полученные расчетные значения представлены в таблице А (Приложение А).

Результаты дозиметрического контроля рабочих мест, расположенных в пультовой и расчетные значения представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерений на рабочих местах персонала гр. А

	Высота	$D \cdot 10^{-6}$, мЗВ	$t_{\text{изм}}$, с	$D_{\text{имп}} \cdot 10^{-6}$, мЗВ	$D_{\text{год}}$, мЗВ
Рабочее место 1	10	14	51	0,7	4
		15	64		
		15	91		
		15	69		
	90	15	76	0,7	4
		15	64		
		15	79		
		15	73		
	150	15	51	0,7	4
		15	67		
		15	74		
		15	64		
Рабочее место 2	10	15	68	0,7	4
		15	74		
		15	81		
		15	74		
	90	15	72	0,7	4
		15	83		
		15	80		
		15	78		
	150	15	68	0,7	4
		15	58		
		14	35		
		15	54		

Для анализа полученных в ходе проведения дозиметрического контроля результатов проведено сравнение данных с установленными НРБ-99/2009 пределами доз. Полученные значения не превышают 20% от установленных для персонала группы А, для персонала группы Б – не превышают 90%. Падение значений за стеной 4 относительно стен 2 и 3 связано с тем, что первичное излучение направленно перпендикулярно стене 2 и выходит преимущественно в переднюю полусферу.

Пространственное распределение дозы в помещении, расположенном над установкой получено путем проведения измерений в узлах сетки стороной 1 м × 1 м. План измерений представлен на рисунке 5.2.

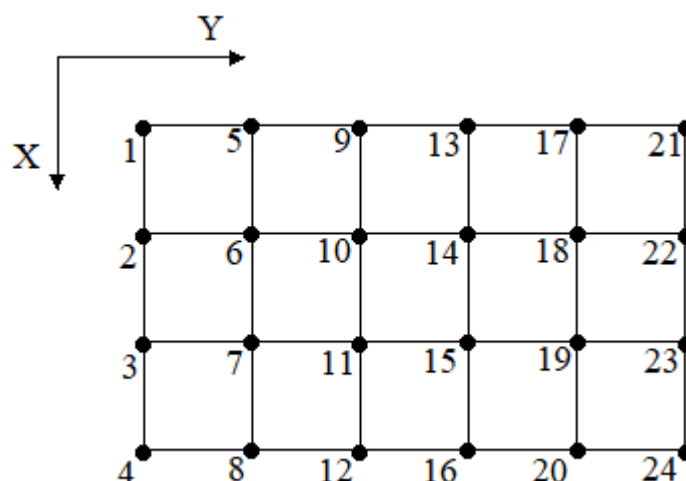


Рисунок 5.2 – План измерений (помещение над установкой)

Результаты измерений представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты измерений (помещение над установкой)

Номер точки	$t_{\text{изм}}, \text{с}$	$D \cdot 10^{-6}, \text{мЗв}$	$D_{\text{имп}} \cdot 10^{-6}, \text{мЗв}$	$D_{\text{год}}, \text{мЗв}$
1	87	16	0,7	4
2	67	15	0,7	4
3	82	16	0,7	4
4	62	15	0,7	4
5	68	15	0,7	4
6	63	15	0,7	4
7	63	15	0,7	4
8	63	15	0,7	4
9	60	15	0,7	4
10	52	15	0,7	4
11	60	15	0,7	4
12	69	15	0,7	4
13	62	13	0,6	4
14	64	13	0,6	4
15	61	14	0,6	3
16	72	15	0,6	3
17	54	14	0,6	4
18	38	13	0,6	4
19	65	12	0,5	3
20	73	12	0,5	3
21	49	13	0,6	4
22	58	13	0,6	3
23	61	13	0,6	3
24	52	14	0,6	4

По результатам измерений в узлах сетки получено пространственное распределение дозы в помещении, расположенном над установкой, представленное на рисунке 5.3

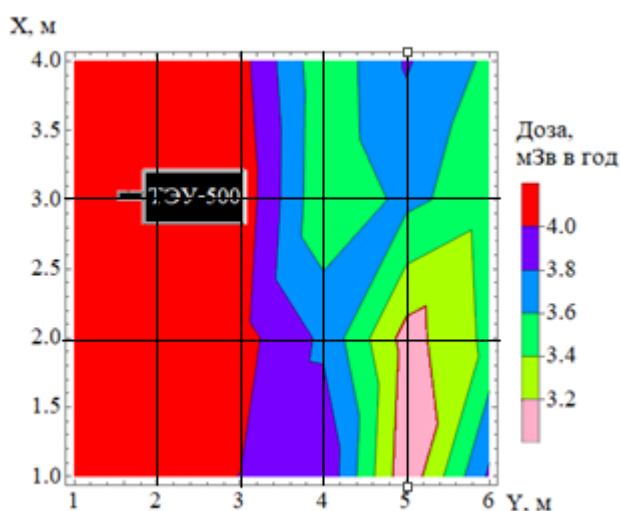


Рисунок 5.3 – Пространственное распределение дозы

5.2 Расчет дозы в импульсе от рассеянного тормозного излучения с помощью универсальных таблиц

Мощность тканевой поглощенной дозы тормозного излучения ускорителя \dot{D} ($\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \cdot \text{м}^2$) на расстоянии F (м) от мишени (рис. 5.4) получаем путем моделирования установки «ТЭУ-500» в программе «Компьютерная лаборатория».

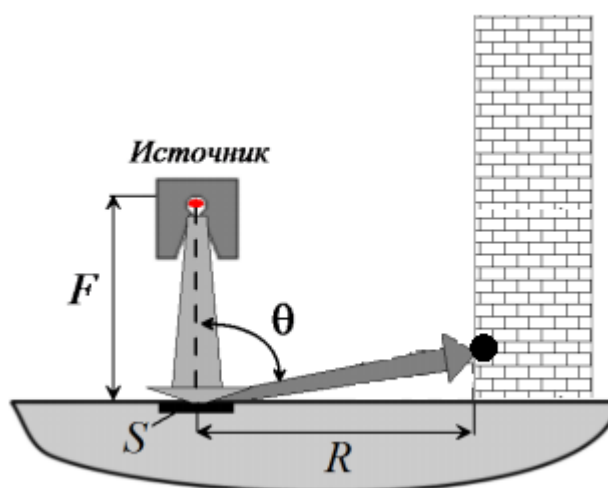


Рисунок 5.4 – Геометрия расчета дозы от рассеянного тормозного излучения

Мощность поглощенной дозы отраженного тормозного излучения в импульсе на расстоянии F (м) по формуле (5.3):

$$\dot{D}_{\text{имп}} = \frac{\dot{D} \cdot S \cdot A_D}{F^2 \cdot 2\pi \cdot R^2} \text{ (мкГр/ч)}. \quad (5.3)$$

где \dot{D} – мощность тканевой поглощенной дозы тормозного излучения ускорителя, $\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \cdot \text{м}^2$;

S – величина площади, на которую падает первичный пучок, м^2 ;

A_D – интегральное дозовое альбедо;

F – расстояние от источника до центра площадки S , куда падает излучение, м;

R – расстояние от центра площадки, на которую падает излучение до заданной точки, м.

Моделирование тканевой поглощенной дозы тормозного излучения ускорителя проводилось по следующему плану:

- Получение спектра тормозного излучения установки в режиме «BREMSSTRAHLUNG» путем задания источника, как точечного источника электронов с энергией 415 кэВ;
- Создание гетерогенной барьерной геометрии в режиме «BARRIER» (рис. 5.5);
- Задание источника, как источника тормозного излучения, с использованием ранее полученного спектра тормозного излучения установки.
- Пересчет, полученной (в расчете на одну частицу) в ходе моделирования дозы на расстоянии F (м) от источника по формуле (5.4), для получения мощности тканевой поглощенной дозы в импульсе:

$$\dot{D}_{\text{имп}} = \frac{D \cdot i}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot 3600, \left(\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \cdot \text{м}^2 \right) \quad (5.4)$$

где D – доза на расстоянии F (м) от источника в расчете на одну частицу, Гр/электрон;

i – ток электронов, А.

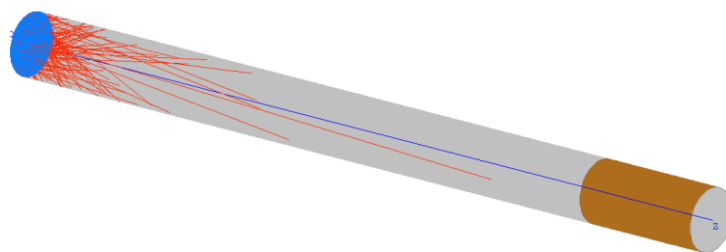


Рисунок 5.5 –Гетерогенная барьерная геометрия

С учетом небольшой расходимости пучка – $\theta_0 = 5^\circ$. Площадь, на которую падает первичный пучок вычисляется по формуле (5.5):

$$S = \pi \cdot (F \cdot \operatorname{tg} \theta_0)^2 = 0,057 \text{ м}^2. \quad (5.5)$$

Величина интегрального дозового альбеда в направлении 0° для энергии 415 кэВ равна 0,181 [6].

Мощность эквивалентной дозы отраженного тормозного излучения в импульсе в заданной точке вычисляется по формуле (5.6):

$$\dot{H}_{\text{имп}} = \bar{w} \cdot \dot{D}_{\text{имп}} \cdot \exp(-\Sigma d), (\text{мкЗв/ч}) \quad (5.6)$$

где \bar{w} – взвешивающий коэффициент;

Σ – линейный коэффициент ослабления, 1/см;

d – толщина защиты.

Доза в импульсе в заданной точке вычисляется по формуле (5.7):

$$H_{\text{имп}} = \dot{H}_{\text{имп}} \cdot t_{\text{имп}}, (\text{мкЗв/ч}) \quad (5.7)$$

Результаты расчета приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты расчетов

Номер точки	$\dot{H}_{\text{имп}}, \text{мкЗв/ч}$	ДМДА, мкЗв/ч	$\dot{H}_{\text{имп}} / \text{ДМДА},$	$H_{\text{имп}}, \text{мкЗв}$	АЭД, мкЗв	Отклонение от эксперимента, %
3.1	$5 \cdot 10^7$	12	$4 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	29
3.2	$5 \cdot 10^7$		$4 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	29
3.3	$5 \cdot 10^7$		$4 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	0
2.2	$4 \cdot 10^7$		$3 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	17
2.3	$5 \cdot 10^7$		$4 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	14
2.4	$8 \cdot 10^7$		$7 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	25
4.2	$2 \cdot 10^7$		$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	33
4.3	$2 \cdot 10^7$		$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	0

Полученные данные показали хорошее согласие с экспериментальными. Расхождение не превышает 33% и обусловлено погрешностью прибора и неточностью данных о составе и толщинах стен.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время одним из важных критериев оценивания значимости проекта является коммерческая ценность разработки. Для поиска финансирования проведения исследования необходимо произвести оценку коммерческого потенциала проекта. Коммерческая привлекательность проекта подразумевает следующее: востребованность продукта на рынке, техническое превосходство продукта его аналогам, цена, бюджет разработчиков и время, которое необходимо для выхода продукта на рынок.

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы являются дозовые характеристики полей импульсного ионизирующего излучения.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка конкурентоспособности и коммерческой ценности исследования.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности

исследования.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Поскольку рынок пребывает в постоянном движении, необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок. Проведение такого анализа помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешно противостоять конкурентным разработкам и определить направления ее будущего повышения.

Аналогами программы для моделирования методом Монте-Карло процессов распространения ионизирующего излучения в веществе «PCLab» являются программы «GEANT4» и «MCNPX».

Для оценки и сравнения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены следующие критерии (таблица 6.1), которые позволяют учитывать технические, эксплуатационные и экономические характеристики разработки.

Таблица 6.1 – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Удобство в эксплуатации	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
4. Энергоэкономичность	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
5. Надежность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,13	5	3	3	0,65	0,39	0,39
9. Функциональная мощность	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
10. Простота эксплуатации	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
11. Интеллектуальный интерфейс	0,09	4	5	4	0,36	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
3. Цена	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
7. Срок выхода на рынок	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
Итого	1	52	51	47	4,35	4,32	3,88

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

6.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Ясная методика получения результатов.	Сл1. Высокие требования к экспериментальным установкам
С2. Наличие исследовательского оборудования и программного обеспечения на базе ТПУ.	Сл2. Большие погрешности экспериментов
С3. Новизна идеи научного исследования	Сл3. Ограниченность возможностей программного обеспечения при моделировании.
С4. Экологичность безопасность технологии.	Сл4. Отсутствие прототипа
Возможности	Угрозы
В1. Сотрудничество с другими научными центрами.	У1. Появление конкурирующих разработок.
В2. Уменьшение затрат на проведение предварительного дозиметрического контроля	У2. Невостребованность исследования.
В3. Увеличение спроса на источники импульсного ионизирующего излучения	У3. Отсутствие заинтересованности крупных компаний.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 6.3–6.6.

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	-
	B2	+	-	-	+
	B3	-	-	+	+

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	-	+
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	-	+

Таблица 6.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	-	+
	У2	-	-	-	-
	У3	-	+	+	-

Таблица 6.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	+	+	-	-
	У3	-	-	+	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 6.7.

Таблица 6.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Ясная методика получения результат.</p> <p>С2. Наличие исследовательского оборудования и программного обеспечения на базе ТПУ.</p> <p>С3. Новизна идеи научного исследования.</p> <p>С4. Экологичность безопасность технологии.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Высокие требования к экспериментальным установкам</p> <p>Сл2. Большие погрешности экспериментов</p> <p>Сл3. Ограниченность возможностей программного обеспечения при моделировании.</p> <p>Сл4. Отсутствие прототипа</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Сотрудничество с другими научными центрами.</p> <p>В2. Уменьшение затрат на проведение предварительного дозиметрического контроля</p> <p>В3. Увеличение спроса на источники импульсного ионизирующего излучения</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С1С2С3. Ясность методики и новизна научного исследования позволит привлечь к сотрудничеству другие научные центры, а наличие оборудования на базе ТПУ позволит организовать это сотрудничество в рамках данного проекта</p> <p>В3С3С4. В условиях постоянно растущего спроса на источники импульсного ионизирующего излучения есть возможность привлечь внимание потенциальных потребителей к новой экологичной технологии</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл2Сл4. Сотрудничество с другими научными центрами может позволить привлечь больше квалифицированных работников для усовершенствования технологии: уменьшения погрешности эксперимента, а также для создания прототипа.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Появление конкурирующих разработок.</p> <p>У2. Невостребованность исследования.</p> <p>У3. Отсутствие заинтересованности крупных компаний.</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С1С4. Не смотря на появление на рынке конкурирующих разработок, данная разработка отличается ясной методикой и ее экологичностью.</p> <p>У3С2С4. Наличие оборудования на базе ТПУ и экологичность методики может заинтересовать представителей крупных компаний.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У3Сл2Сл3. Имеющиеся на данном этапе высокие погрешности экспериментов и ограниченность возможностей программного обеспечения могут привести к невостребованности данного исследования в дальнейшем.</p>

Согласно матрице SWOT-анализа, были определены сильные и слабые стороны проекта, а также имеющиеся возможности и потенциальные угрозы проекта. Сильные стороны обусловлены в первую очередь ясностью методики, новизной и экологичностью проекта. Основной слабостью научного проекта является высокие требования к экспериментальным установкам и высокие

погрешности эксперимента. Так как в настоящее время интерес к импульсным источникам ионизирующего излучения только возрастает, данный проект обладает большими возможностями и конкурентоспособен, как на отечественном рынке, так и за рубежом.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном пункте составлен полный перечень проводимых работ и определены их исполнители. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта, представленный в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор метода исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Создание математической модели эксперимента	Инженер
	7	Проведение моделирования распределения дозовых полей установки «ТЭУ-500»	Инженер

	8	Измерение дозовых характеристик поля излучения установки «ТЭУ-500»	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Обработка полученных данных	Инженер
	10	Анализ правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки	Инженер

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (6.2)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, \quad (6.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.4):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,48 \quad (6.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T _{pi}	Длительность работ в календарных днях T _{ki}
	t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ожи} , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	7	-	12	-	9	9	13
4. Выбор метода исследования	-	2	-	4	-	2,8	2,8	4















Продолжение таблицы 6.9



Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T _{pi}	Длительность работ в календарных днях T _{ki}
	t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ожи} , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. Планирование эксперимента	2	5	4	7	2,8	5,8	4,3	6
6. Создание математической модели эксперимента	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
7. Проведение моделирования распределения дозовых полей установки «ТЭУ-500»	-	10	-	15	-	12	12	18
8. Измерение дозовых характеристик поля излучения установки «ТЭУ-500»	-	1	-	2	-	1,4	1,4	2
9. Обработка полученных данных	-	9	-	14	-	11	11	16
10. Анализ правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
11. Составление пояснительной записки		10		15		12	12	18
Итого:	7	53	15	83	10,2	65	65	96

Примечание: Исп.1 – научный руководитель, Исп.2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 6.10).

Таблица 6.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	Т _к , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	 											
3	Обзор научной литературы	Исп2	13												
4	Выбор метода исследования	Исп2	4												
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	6			 									
6	Создание математической модели эксперимента	Исп2	6												
7	Проведение моделирования распределения дозовых полей установки «ТЭУ-500»	Исп2	18												
8	Измерение дозовых характеристик поля излучения установки «ТЭУ-500»	Исп2	2												
9	Обработка полученных данных	Исп2	16												
10	Анализ правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5							 					
11	Составление пояснительной записки	Исп1	18												

Примечание:  – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

6.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

6.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции. К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи и т.п. Список материальных затрат приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Материальные затраты

Название	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Краска для принтера	шт.	1	450	450
Бумага для принтера	пачка	2	260	520
Шариковая ручка	шт.	2	40	80
Карандаш	шт.	2	15	30
Итого:				1080

6.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (6.6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} m, \quad (6.7)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 6.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дозиметр ДКС-АТ1123	1	10	0,17	10	244600	347
2	Установка ТЭУ-500	1	30	0,17	3,3	4000000	1870
3	Ноутбук ASUS K555L	1	3	1,4	33	38000	1463
4	Принтер HP LaserJet 1020	1	3	0,13	33	12000	43
Итого:		3723 руб.					

6.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6.8)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 6.13).

Таблица 6.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	53/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/0	24/0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	224

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}})k_{\text{р}} \quad (6.11)$$

$$З_{\text{м}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (6.12)$$

– для инженера:

$$З_{\text{м}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (6.13)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{251} = 2104,5 \text{ руб.}, \quad (6.14)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – М=11,2 месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – М=10,3 месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{224} = 1657,5 \text{ руб.}, \quad (6.15)$$

Таблица 6.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб	$З_m$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2104,5	10,2	21465,9
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1657,5	65	107737,5
Итого:								129203,4

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 21465,9 = 3219,9 \text{ руб.} \quad (6.16)$$

– для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 107737,5 = 16160,6 \text{ руб.}, \quad (6.17)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

6.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

22 % – на пенсионное страхование;

5,1 % – на медицинское страхование;

2,9 % – на социальное страхование.

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.18)$$

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (21465,9 + 3219,9) = 7405,7 \text{ руб.} \quad (4.19)$$

– для инженера:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (107737,5 + 16160,6) = 37169,4 \text{ руб.} \quad (4.20)$$

где $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 6.15).

Таблица 6.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
	Исполнение 1	Исполнение 1
Руководитель проекта	6439,8	966
Инженер	32321,3	4848,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Исполнение 1	44575,3	

6.2.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 6.16 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
3723	1080	129203,4	19380,5	44575,1	197962

Величина накладных расходов определяется по формуле (6.21):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = 39592,4 \text{ руб.} \quad (6.21)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки «ТЭУ-500» по форме, приведенной в таблице 6.17.

Таблица 6.17 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты НИР	1080	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	3723	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	129203	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19380,5	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	44575,3	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	39592,4	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		237554,6	Сумма ст. 1- 6

6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.22)$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как разработка имеет одно исполнение, то:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп } 1} = \frac{237554,6}{237554,6} = 1, \quad (6.23)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (6.24)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 6.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда	0,2	5
2. Удобство эксплуатации	0,15	4
3. Экологичность	0,2	4
4. Надежность	0,3	4
5. Экономичность	0,15	5
ИТОГО	1	4,4

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,35 \quad (6.25)$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп } i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп } i} = \frac{I_{p-\text{исп } i}}{I_{\text{фин}}}, \quad (6.26)$$

Таблица 6.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,35

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. В данном случае имеет лишь один вариант решения задачи. Следовательно, предоставленный вариант и предполагается лучшим.

Выводы по разделу

В результате выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены его угрозы и возможности.

Построен календарный план-график проведения работ каждого исполнителя проекта. Общее количество дней на выполнение проектных работ составляет 96 календарных дней. Бюджет затрат НИР составил 237554,6 рублей.

Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки равен 4,35, что говорит об эффективности реализации технического проекта.

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что данная работа является экономически целесообразной и конкурентно способной.

7 Социальная ответственность

Введение

В данной работе выделяются и описываются характерные особенности источников импульсного ионизирующего излучения и методов их дозиметрического контроля. Проведено моделирование распределения дозовых полей импульсного ионизирующего излучения и сравнение с данными, полученными в ходе дозиметрического контроля установки «ТЭУ-500». Определена возможность использования компьютерного моделирования на этапе проектирования помещения с источником импульсного ионизирующего излучения.

Во время работы с источниками ионизирующего излучения правильная организация труда приобретает важное значение. Она обеспечивает радиационную безопасность персонала. Правила по охране труда и техники безопасности необходимы для предупреждения возможных несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и обязательны для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Регулирование отношений между работником и работодателем относительно режима рабочего времени, защиты персональных данных работника; оплаты и нормирования труда; видов компенсаций при работе во вредных условиях труда и т.д., осуществляются на основании Трудового кодекса РФ. Помимо ТК РФ нормативное регулирование охраны труда при работе за компьютерами осуществляется на основании следующих документов: Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01; СанПиН 2.2.2. / 2.4. 1340-03. Основными документами, регулирующими деятельность, связанную с источниками ионизирующего излучения, являются: СанПиН 2.7.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)"; СП 2.7.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-

99/2010)».

Согласно ТК РФ нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность смены не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов; при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов [13].

Заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, составляет 4 процента оклада, установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [13].

Работникам, условия труда которых отнесены к вредным условиям 2,3, 4 степени или опасным условиям труда, предоставляется дополнительный ежегодный оплачиваемый отпуск. Минимальная продолжительность такого отпуска составляет 7 дней [13].

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с

закругленным передним краем; регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15° и назад до 5°; высоту опорной поверхности спинки 300±20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм; угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ±30°; регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм; стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм; регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230±30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм [14].

7.2 Производственная безопасность

Для того чтобы обеспечить производственную безопасность необходимо провести анализ воздействия на человека вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации проекта.

Производственный фактор относится к вредным, если его воздействие на организм человека может вызвать заболевание, к опасным – если воздействие может привести к травме.

В таблице 7.1 представлен перечень возможных опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды [15].

Таблица 7.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение параметров микроклимата воздушной среды	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

Продолжение таблицы 7.1

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Шум	-	+	-	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	-	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
Повышенный уровень ионизирующего излучения	-	+	-	СанПиН 2.7.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009
Вредные вещества	-	+	-	СанПиН 2.7.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ"
Нервно-психические перегрузки	+	-	+	МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности
Электрический ток (опасный фактор)	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

7.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

7.2.1.1 Параметры микроклимата

Требования к микроклиматическим параметрам воздушной среды на рабочем месте устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Высокая температура может привести к перегреву и быстрой утомляемости организма. В помещениях для работы с персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ) выделение тепла происходит вычислительной техникой, вспомогательными приборами, а также осветительными приборами. Для нормализации температуры в помещении необходимо устанавливать кондиционеры. На терморегуляцию организма, помимо температуры, большое влияние оказывает влажность. При высокой влажности воздуха (более 85%) затрудняется отдача тепла с поверхности тела путем пота, что отрицательно влияет на терморегуляцию.

Работа оператора ПЭВМ относится к категории (1а), так как проводится сидя, без систематических физических нагрузок [16]. Оптимальные параметры микроклимата в холодный и теплый период для данной категории приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый	22-24	21-25	60-40	0,1
Холодный	23-25	22-26	60-40	0,1

7.2.1.2 Недостаточная освещенность

Требования к освещению на рабочем месте устанавливаются СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение». Отсутствие или недостаток необходимого освещения на рабочем месте могут возникнуть по причине отдаленности от источников освещения или их недостаточной мощности.

Особое внимание освещению на рабочем месте оператора ПЭВМ уделяется потому что уровень освещения на прямую влияет на зрительную утомляемость, что может привести к совершению ошибок и появлению профессиональных зрительных заболеваний.

Работа за компьютером относится к классу работ высокой точности, наименьший эквивалентный размер объекта различения составляет от 0,3 до 0,5 мм, разряд зрительной работы – III, подразряд – г [17]. В таблице 7.3 представлены нормативные показатели искусственного и естественного освещения при работах заданной точности.

Таблица 7.3 – Нормативные показатели искусственного и естественного освещения при работах заданной точности

Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение			Естественное освещение		Совмещенное освещение		
		Освещенность, лк			КЕО, %				
		При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	
		Всего	В том числе от общего						
Средний, большой	Светлый, средний	400	200	200	-	-	3,0	1,2	

7.2.1.3 Шум

Источником шума при работе установки «ТЭУ-500» является высокочастотный генератор. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на персонал: снижается внимание. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы. Уровень шума на рабочем месте регулируется СанПин 2.2.4/2.1.8.562-97. Далее представлены предельно допустимые нормы звукового давления [18].

Таблица 7.4 – Нормативные показатели искусственного и естественного освещения при работах заданной точности

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Творческая деятельность, научная деятельность, конструирование и проектирование в лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38

7.2.1.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитного излучения на рабочем месте является непосредственно персональный компьютер, сеть электропроводки, а также различные вспомогательные устройства: устройства бесперебойного питания, блоки питания. Уровни электромагнитного излучения при работе с ЭВМ регламентируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Электромагнитное излучение инициирует в организме процессы, приводящие к сбоям в его важнейших системах. Электромагнитное поле может быть причиной снижения иммунитета, стрессоустойчивости, выносливости и работоспособности.

В таблице 7.5 приведены допустимые уровни параметров электромагнитных полей [19].

Таблица 7.5 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

Наименование параметров		Допустимые значения
Напряженность электрического тока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		15 кВ/м

7.2.1.5 Повышенный уровень ионизирующего излучения

Основными документами, регулирующими деятельность, связанную с источниками ионизирующего излучения, являются: СанПиН 2.7.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)"; СП 2.7.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».

Источником тормозного излучения в данной работе является установка «ТЭУ-500». Влияние ионизирующего излучения на организм во многом зависит от вида излучения, длительности воздействия и полученной дозы. Любое ионизирующее излучение вызывает в клетках организма необратимые последствия, которые могут проявляться в форме острой или хронической лучевой болезни. Излучение может вызывать отдаленные генетические последствия, которые проявляются в последующих поколениях. Основные пределы доз для персонала и населения указаны в таблице 7.6 [20].

Таблица 7.6 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза в год в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

7.2.1.6 Вредные вещества

Во время работы ускорителя в результате ионизации воздуха в нем образуются положительные и отрицательные ионы, затем протекают различные процессы рекомбинации и в результате этих реакций в воздухе образуются токсичные вещества: озон и окислы азота. Для снижения концентрации этих веществ до предельно допустимых уровней (ПДК), указанных в таблице 7.7, производят расчет и устанавливают специальную вентиляцию [21].

Таблица 7.7 – Значения ПДК некоторых токсичных веществ

Вещество	ПДК, мг/м ³
Озон	0,1
Двуокись азота	2,0
Окись углерода	30

7.2.1.7 Нервно-психические перегрузки

Работа за компьютером требует постоянной сосредоточенности. Основными психофизическими вредными факторами являются: напряжение зрения, длительные статические нагрузки, монотонность труда, большой объем данных, поступающих в единицу времени. Все эти факторы приводят к переутомлению глаз, головным болям, болям в мышцах шеи, спины и рук. Это значительно влияет на концентрацию внимания работника и его производительность. Поэтому в МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» предусмотрены меры, позволяющие снизить воздействие этих факторов на организм человека.

Согласно [22] при пятидневной рабочей неделе и 8-часовой смене рекомендуемая продолжительность обеденного перерыва должна составлять 30 минут, а регламентированные перерывы рекомендовано устанавливать через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 5 – 7 мин. каждый. Для снижения эмоционального напряжения во время этих перерывов рекомендуется комплекс физических упражнений, в том числе упражнения для глаз. А во второй половине дня показана психологическая разгрузка в специальных помещениях.

7.2.1.8 Электрический ток

Источниками опасного фактора являются токопроводящие кабели, элементы электрооборудования. Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ.

Проходя через организм, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов и нервных волокон. Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов. Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным судорожным сокращением мышц, в том числе мышц сердца и легких. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в табл.7.8 [23].

Таблица 7.8 – Предельные значения напряжения прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для оператора ПЭВМ при работе с электрическим оборудованием обязательны следующие меры предосторожности: перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей; при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо сообщить сотруднику, ответственному за оборудование.

7.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия вредных и опасных факторов на исследователя

Для предотвращения или минимизации воздействия вредных и опасных факторов на исследователя при работе с ПЭВМ необходимо правильно организовать рабочее место.

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м² [14]. В качестве источников света при искусственном освещении рекомендуется применять преимущественно люминесцентные лампы белого света. Светильники общего освещения следует располагать в виде сплошных или прерывистых линий, сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении и ПЭВМ. Для обеспечения соответствия освещения нормируемым значениям в помещениях для использования ПЭВМ необходимо проводить чистку оконных стекол и светильников с периодичностью не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Для снижения утомляемости кресло должно обеспечивать рациональную рабочую позу пользователя. Для этого необходимо, чтобы кресло имело регулировки по высоте и углам наклона спинки и сиденья, а также регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья. Так же снижению утомляемости при работе с ПЭВМ способствует правильная организация перерывов во время рабочего процесса: рекомендуется организация перерывов на 10–15 мин. через каждые 45–60 мин. работы [24].

Поддержание нормальных значений параметров микроклимата рекомендуется оснащать рабочие места системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Необходимо использовать технику, удовлетворяющую нормам и правилам сертификации, чтобы максимально исключить негативное воздействие электромагнитных излучений. Также можно использовать различные фильтры и экраны для защиты человека, работающего за ПЭВМ.

Чтобы минимизировать воздействие шума на организм человека в первую очередь надо использовать коллективные средства защиты, которые по отношению к источнику шума подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта. Наиболее эффективны мероприятия, ведущие к снижению шума в источнике его возникновения. Коллективные средства защиты от шума: звукоизоляция и глушители. Средства индивидуальной защиты от шума: наушники, закрывающие ушную раковину снаружи; вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход; противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

Для снижения уровня воздействия на организм ионизирующего излучения необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ). Так же предусмотрены следующие способы защиты: временем – уменьшение времени работы с источником; количеством – уменьшение массы, а соответственно и активности источника; расстоянием – увеличение расстояния до источника. На установке, рассматриваемой в работе в первую очередь используется защита расстоянием и временем.

Для защиты от воздействия электрического тока помещения, в которых расположены ПЭВМ, должны быть обеспечены защитным заземлением, занулением и защитным отключением – УЗО. Все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал, а также необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки.

7.3 Экологическая безопасность

Непосредственно работа за ПЭВМ не является экологически опасной. Основной причиной экологического вреда природе при использовании офисной техники является ее утилизации, т.к. компьютеры могут содержать токсичные, опасные для экологии вещества.

Отработанная офисная техника относится к опасным отходам. При производстве компьютеров применяются вещества, которые могут нанести вред

экологии. Содержащиеся в деталях компьютера свинец, олово, ртуть и цинк приводят к уничтожению организмов и отравлению атмосферы, литосферы и гидросферы. Также в составе некоторых деталей компьютера могут содержаться драгоценные металлы, которые подлежат вторичному использованию. Поэтому утилизацией таких отходов занимаются специализированные организации. Весь компьютер нельзя отнести к одному классу опасности, так как его детали могут оказывать разный вред на окружающую среду. Разделяют следующую классификацию:

- 1 класс – ртутные лампы из мониторов;
- 2 класс – аккумуляторы и платы, содержащие олово, свинец и кадмий;
- 3 класс – провода и трансформаторы.

В зависимости от класса опасности разные детали хранят и перевозят в специальных емкостях при определенных условиях. Детали, относящиеся к первому классу опасности, хранят в герметичных контейнерах в строго изолированных помещениях и не более 24 часов на одном месте. Для металлических отходов достаточно бумажных и текстильных пакетов.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При работе с ПЭВМ наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем месте, является пожар в результате возгорания техники. В ПЭВМ элементы электронных схем расположены близко друг к другу, соединительные провода и кабели аналогично расположены в непосредственной близости. При протекании электрического тока через провода выделяется значительное количество теплоты, что может привести к оплавлению изоляции и возникновению возгорания. Возникновение других видов ЧС – маловероятно.

Помещение для работы операторов ПЭВМ по системе классификации категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д (из 5-ти категорий А, Б, В1-В4, Г, Д), т.к. относится к помещениям с негорючими веществами и материалами в холодном состоянии [25].

Согласно [26] пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды и предотвращением образования в горючей среде источников зажигания.

Система противопожарной безопасности должна выполнять следующие задачи: исключать возникновение пожара; обеспечивать пожарную безопасность людей; обеспечивать пожарную безопасность материальных ценностей.

В случае возникновения пожара необходимо:

- сообщить о возникновении пожара ответственному лицу или обратиться в службу пожаротушения;
- отключить питание электрооборудования;
- приступить к тушению имеющимися первичными средствами пожаротушения (переносные и передвижные огнетушители; пожарные краны и средства обеспечения их использования; пожарный инвентарь; покрывала для изоляции очага возгорания; генераторные огнетушители аэрозольные переносные);
- при возникновении угрозы жизни необходимо незамедлительно покинуть опасную зону.

Выводы по разделу

В данном разделе ВКР проведен анализ основных вредных и опасных факторов: показатели микроклимата, недостаточная освещенность, шум, воздействие электромагнитного излучения, воздействие ионизирующего излучения, вредные вещества, нервно-психические перегрузки и вероятность поражения электрическим током. Также приведены мероприятия по снижению воздействия этих факторов на исследователя.

В заключительных подразделах рассмотрено влияние ПЭВМ на экологию, выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды. Также проведен анализ наиболее возможной чрезвычайной ситуации,

которая может возникнуть при разработке проектируемого решения, и приведен порядок действия во время ЧС.

Заключение

В результате выполнения впускной квалификационной работы выполнено исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки ТЭУ-500.

Проведен литературный обзор по методам и приборам измерения дозовых полей импульсного излучения. Выявлены основные особенности дозиметрии импульсного ионизирующего излучения. Согласно проведённому анализу, в настоящее время на отечественном рынке присутствуют следующие дозиметры, подходящие для дозиметрии импульсного излучения: ДКГРМ1621, ДКС-АТ1123, ДКС-96.

Изучен принцип действия и основные параметры установки ТЭУ-500.

Ускорительный комплекс ТЭУ-500 является сложным источником ионизирующего излучения с точки зрения проведения дозиметрического контроля. Так как установка генерирует импульсное излучение. В ходе дозиметрического контроля превышения пределов доз, установленных НРБ-99/2009 не выявлено.

Проведено компьютерное моделирование распределения дозовых полей установки ТЭУ-500 в совокупности с инженерными расчетами. Полученные данные показали хорошее согласие с экспериментальными. Расхождения обусловлены погрешностью прибора и неточностью данных о составе и толщинах стен.

Список использованных источников

1. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности: Учебное пособие для вузов; – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
2. Иванов В.И. Курс дозиметрии: Учебник для вузов. – 3-е изд. Прераб. И доп. – Атомиздат, 1978. – 392 с.
3. Мартынюк Ю.Н., Нурлыбаев К., Ревков А.А. Дозиметрия импульсного излучения // АНРИ, №1 (92), 2018. – 1-11 с.
4. Титов Н.В. Возможность применения дозиметров со счетчиком Гейгера-Мюллера для дозиметрии импульсного излучения // Vol.12, № 2, 2019 – 76-80 с.
5. Комочков М.М. Дозиметрия ионизирующих излучений: учебное пособие для студентов ВУЗов. – Дубна: Междунар. ун-т природы, о-ва и человека "Дубна", 2006. – 76 с.
6. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие. Томский политехнический университет. – 5-е изд., расшир. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017– 695 с.
7. МУ 2.6.1.3015-12 Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций (с Изменением N 1)
8. Дозиметр индивидуальный рентгеновского и гамма излучений ДКГ-РМ1621: Руководство по эксплуатации – 37 с.
9. Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1121А, ДКС-АТ1123, ДКС-АТ1123А: Руководство по эксплуатации – 54 с.
10. Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1121А, ДКС-АТ1123, ДКС-АТ1123А: Руководство по эксплуатации – 54 с.

11. Беспалов В. И. «Компьютерная лаборатория» (КЛ/PCLab). Описание программы. Руководство по работе с программой (Версия 9.10). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 128 с.
12. Пушкарев А. И. и др., Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывозмиссионным катодом. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 240 с.
13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
14. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
15. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 10с
16. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 15 с.
17. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М.: Минздрав России, 2011. – 69 с.
18. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – М.: Минздрав России, 2003. – 37 с.
20. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009
21. СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ".

22. МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 52 с.
23. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
24. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере"
25. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2009. – 35 с.
26. ГОСТ 12.1.004-91, ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования». – М.: МВД России, 1992. – 25 с.

Приложение А

Таблица А – Результаты измерений на границах зоны ограничения доступа

Номер точки	$D \cdot 10^{-6}$, мЗв	$t_{изм}$, с	$D_{имп} \cdot 10^{-6}$, мЗв	$D_{год}$, мЗв	Номер точки	$D \cdot 10^{-6}$, мЗв	$t_{изм}$, с	$D_{имп} \cdot 10^{-6}$, мЗв	$D_{год}$, мЗв
2.1	15	74	0,6	4	3.4	15	57	0,7	4
	14	57				15	63		
	15	82				15	55		
Среднее	15	71			Среднее	15	58		
2.2	15	57	0,6	4	3.5	15	67	0,7	4
	15	73				14	33		
	15	60				15	56		
Среднее	15	63			Среднее	15	52		
2.3	15	49	0,7	4	3.6	5	36	0,2	1
	15	56				5	78		
	15	60				5	56		
Среднее	15	55			Среднее	5	57		
2.4	15	55	0,7	4	3.7	5	34	0,2	1
	15	50				4	65		
	15	49				5	78		
Среднее	15	51			Среднее	5	59		
2.5	16	51	0,7	4	3.8	3	59	0,1	1
	16	56				3	43		
	15	49				4	45		
Среднее	16	52			Среднее	3	49		
2.6	15	83	0,6	4	1	7	61	0,3	2
	15	65				8	76		
	15	74				8	51		
Среднее	15	74			Среднее	8	63		
3.1	15	67	0,7	4	2	8	55	0,3	2
	15	78				8	54		
	15	56				7	57		
Среднее	15	67			Среднее	8	55		
3.2	15	45	0,7	4	3	7	73	0,3	2
	15	53				7	84		
	15	57				7	86		
Среднее	15	52			Среднее	7	81		
3.3	16	55	0,7	4	4	8	56	0,3	2
	16	76				7	54		
	16	63				7	68		
Среднее	16	65			Среднее	7	59		